

# Consideraciones de las tecnologías IBR para facilitar la creación de un futuro mercado de SSCC



Innovación pionera en electrónica digital y de potencia

Posibilitar la energía renovable inteligente y acelerar la neutralidad de carbono



**HUAWEI**

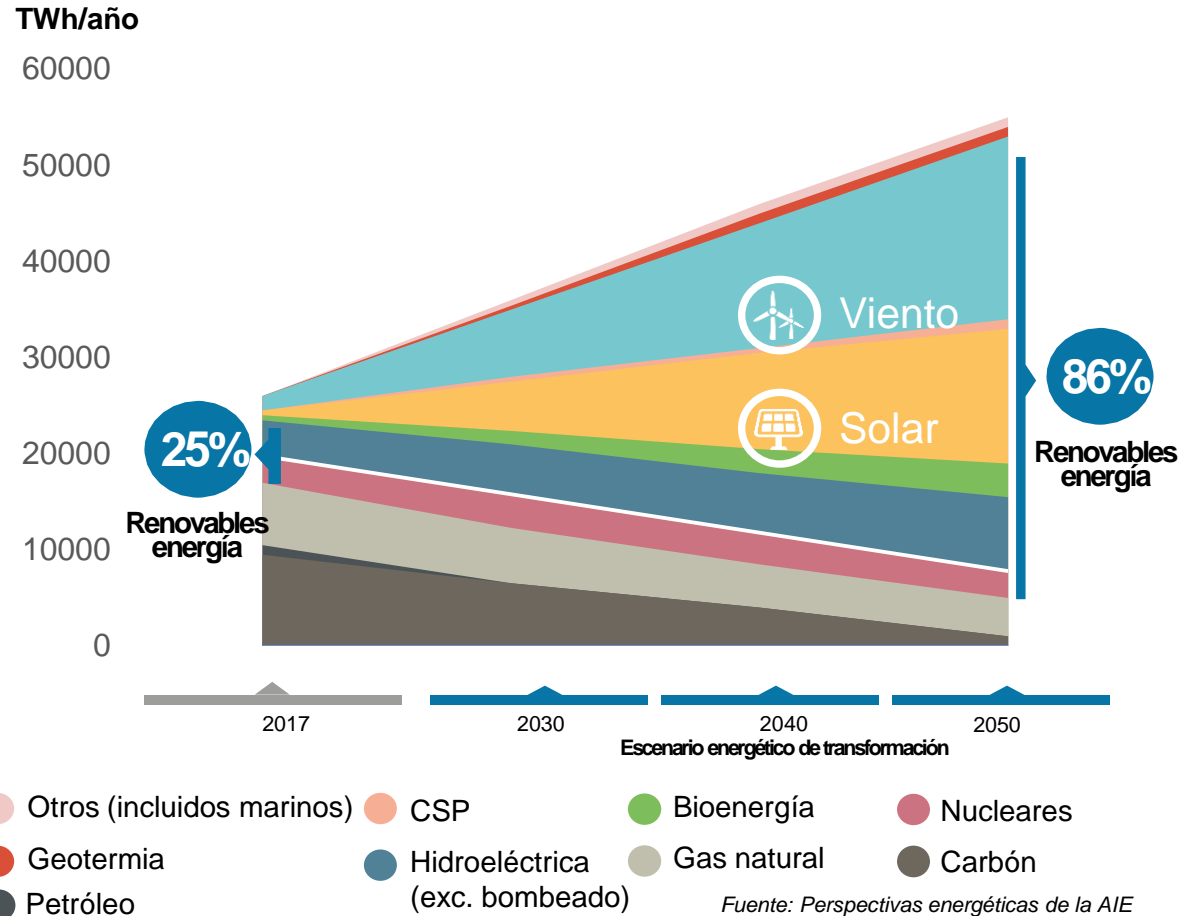


**1**

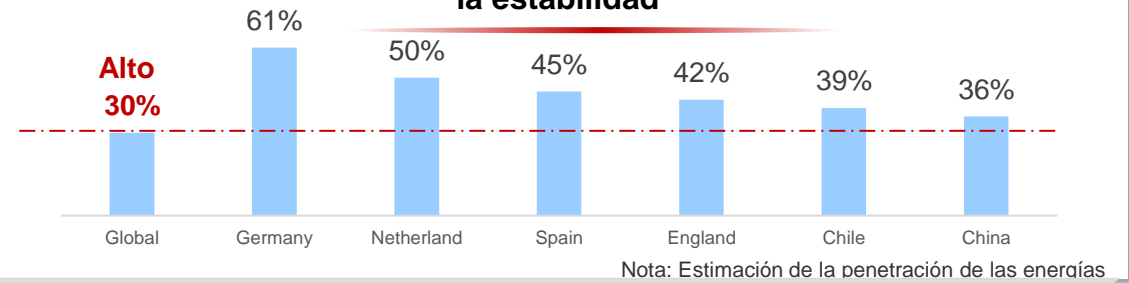
## **TENDENCIAS Y DESAFÍOS DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS MODERNOS**

# Alta presencia de Energía Renovable en base a inversores (IBR): Red Eléctrica débil y problemas de la estabilidad

## Rápido crecimiento de la proporción de energías renovables

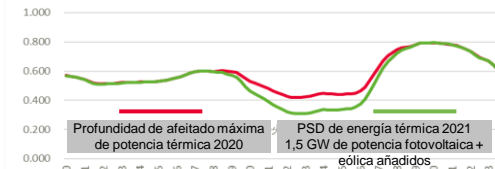


## Penetración de energías renovables: serios desafíos para la seguridad y la estabilidad



### Regulación de peaks/frecuencias

La potencia térmica está cerca del límite máximo de afeitado



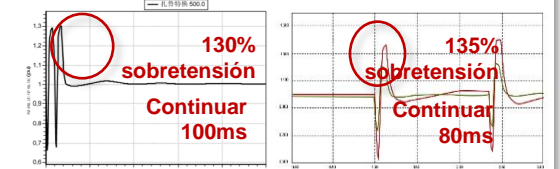
### Margen de estabilidad de voltaje

El HVDC presenta fallas causando el colapso del voltaje



### Sobretensión transitoria

Problemas de sobretensión HVDC Causó más de un 130% de sobretensión



### Oscilación de banda ancha

Riesgo de oscilaciones de baja frecuencia/subsíncronas/supersíncronas

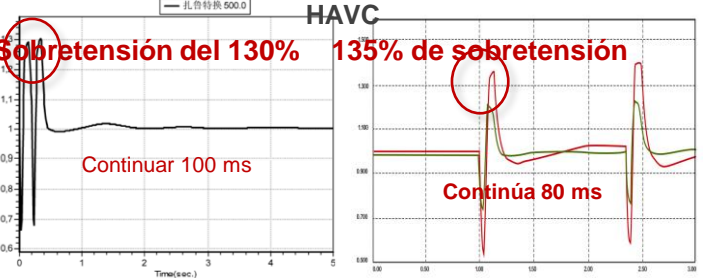


# Diferentes SCR en diferentes momentos y escenarios desafían la estabilidad de la red

## 1 SCR disminuye por HVDC de larga distancia

La red eléctrica China del noroeste está interconectada con otras redes eléctricas regionales a través de DC y el SCR en el extremo emisor es bajo, por lo que es más probable que se produzca HVRT.

HVRT causado por falla de conmutación en el sistema



HAVC	Punto de energización remota parcial SCR
QiShao HAVC	~2.2
HAVC de Tianzhong	~2.2
LINSHAO HAVC	~4.7
YINDONG HAVC	~4.8

## 2 Más energía renovable: Menor SCR

Los recursos renovables se concentran en el oeste y el sur, y la tasa de penetración alcanza el 50%, la capacidad de transmisión de CA es de solo 5GW, menos del 5% de la capacidad instalada, equivalente a la red eléctrica independiente.



		2020	2024
Global	Capacidad	350 GW	400 GW
	PV+ Viento	85,9 GW	160 GW
	Penetración	25%	40%
Sur India	Capacidad	95 GW	150 GW
	PV+ Viento	42,1 GW	85 GW
	Penetración	47%	68%

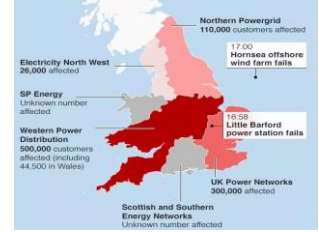
## 3 Variación de SCR a diferentes horas por día

El 9 de agosto de 2019 a las 5:00 p.m., se produjo un corte eléctrico a gran escala en el Reino Unido. El apagón comenzó en el centro-este de Inglaterra y en la costa noreste, dejando sin electricidad a la mayor parte de Inglaterra y Gales.



Se cierra la central eléctrica de gas. Se pierde la generación de 730 MW, la frecuencia del sistema disminuye.

Pérdida de energía principal, reducción del SCR, desconexión de una gran cantidad de energía eólica marina



La frecuencia del sistema baja hasta 48,9 Hz. Fuera del rango de fluctuación permitido (49,8 Hz - 50,2 Hz). Inicia el desprendimiento de carga por baja frecuencia



2

## **FUNCIONALIDADES DE GRID-FORMING**

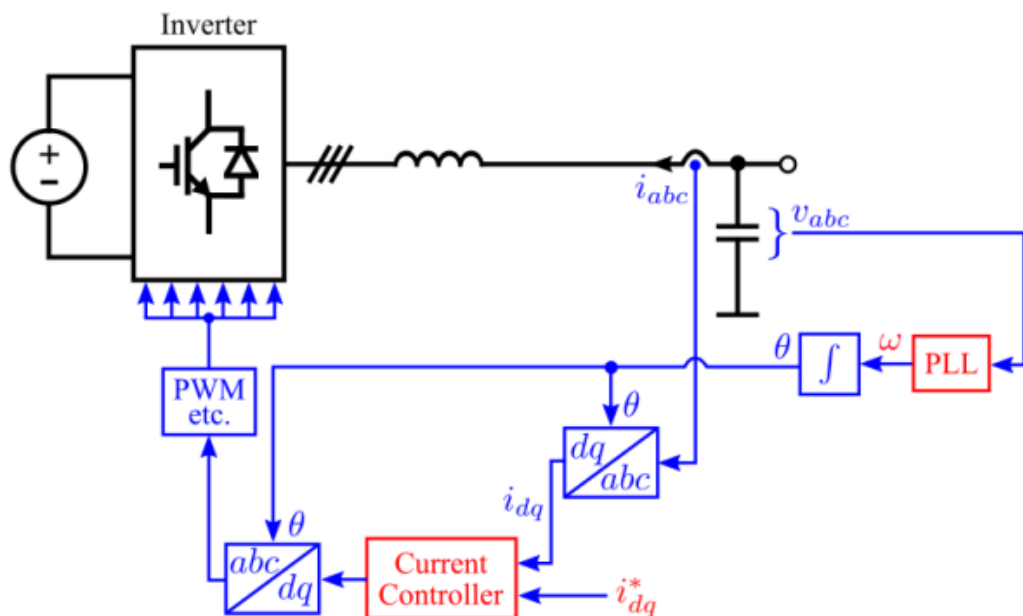
# Tecnologías IBR Grid Following vs Grid-Forming

## Grid Following funciones básicas:

Fuente de corriente

Dependiente de la tensión de la red

Rango de tiempos de respuesta : 20-40 ms

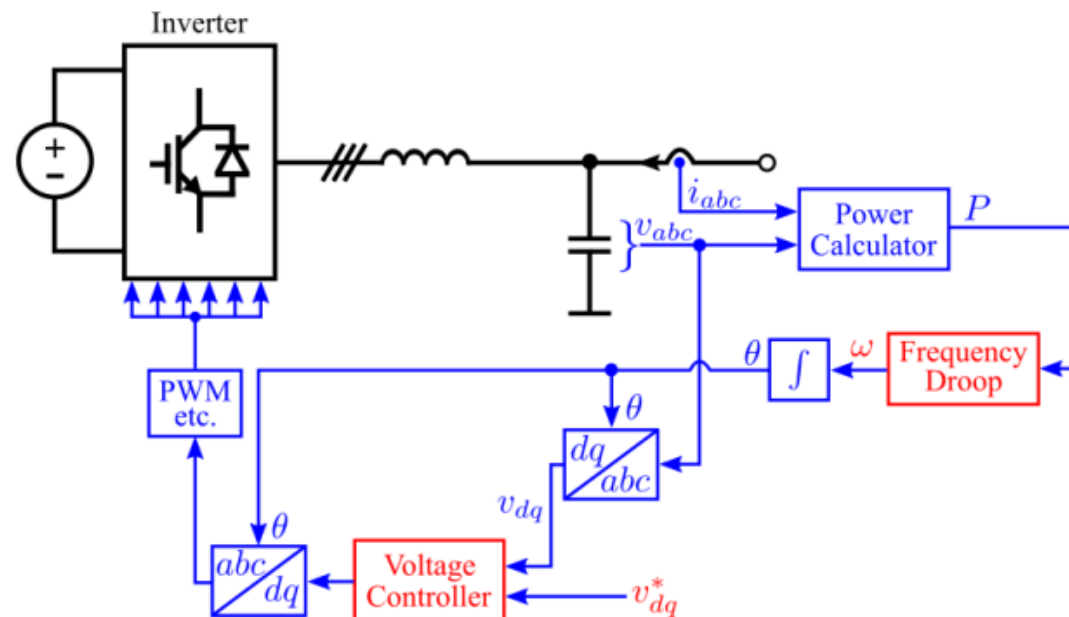


## Grid Forming funciones básicas:

Fuente de tensión

Independiente de la tensión de la red

Rango de tiempos de respuesta : instantáneo - 5 ms



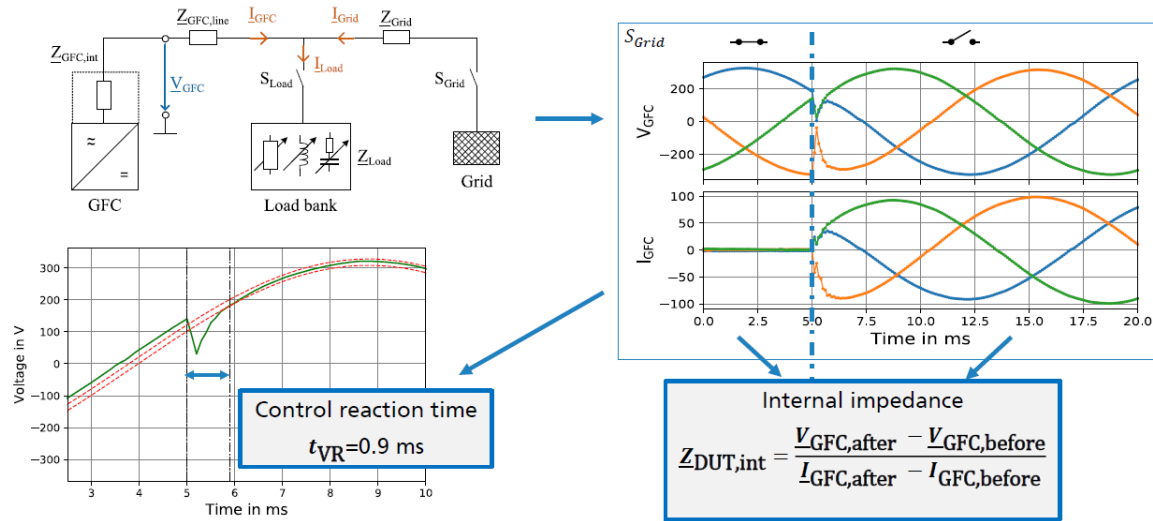
# Funcionalidades generales de Grid-Forming

La norma EN50549-20, actualmente en desarrollo por parte del CENELEC, es una de las definiciones de GFM más reconocidas:

Comportamiento de los convertidores de formación de cuadrícula				
Fuente de tensión	Calidad de la energía	Respuesta inercial	Capacidades de sobrecarga	Interacciones de control
<ul style="list-style-type: none"><li>• Controlar el tiempo de reacción</li><li>• Impedancia interna</li><li>• Capacidad de PQ</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mitigación de asimetrías</li><li>• Mitigación de armónicos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Contribución de inercia</li><li>• Amortiguamiento de frecuencia</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• FRT- HVRT &amp; LVRT</li><li>• Saltos de fase</li><li>• RoCoF</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Amortiguamiento de oscilaciones de potencia (POD)</li><li>• Espectroscopia de impedancia</li></ul>

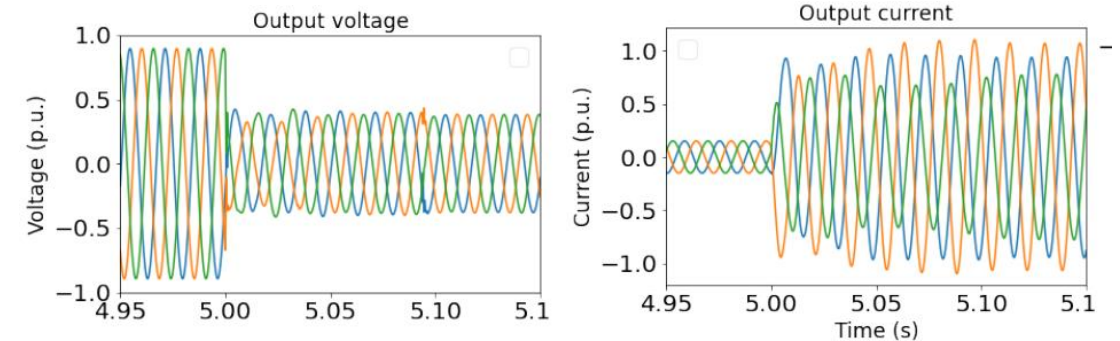
# Funcionalidades generales de Grid-Forming

## Comportamiento de la fuente de voltaje

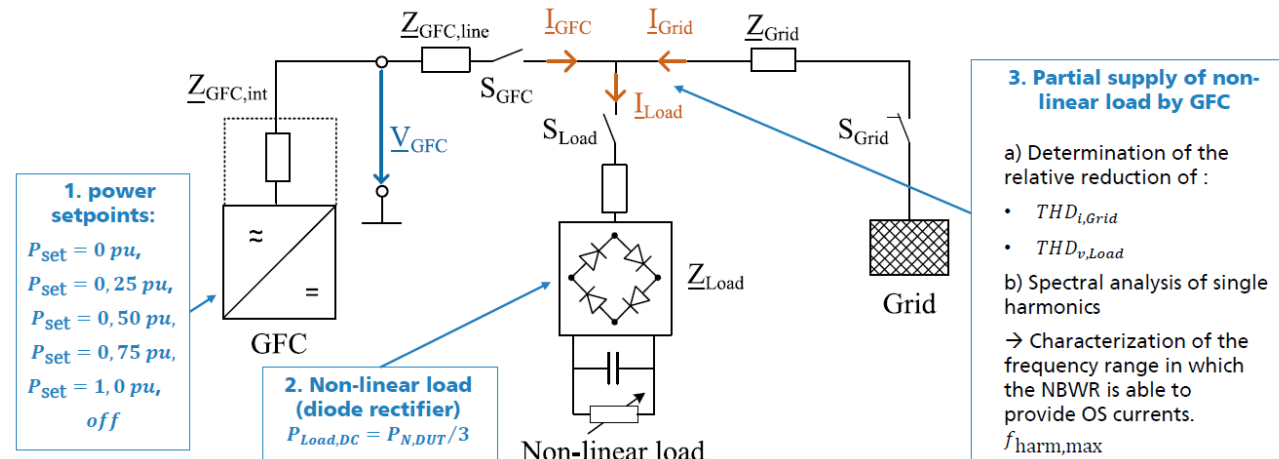


## Capacidad de sobrecarga

- 1) Conexión durante fallas (LVRT y HVRT)
- 2) Saltos de fase (+/- 60 grados)
- 3) Gradientes de frecuencia de hasta 2 Hz/s



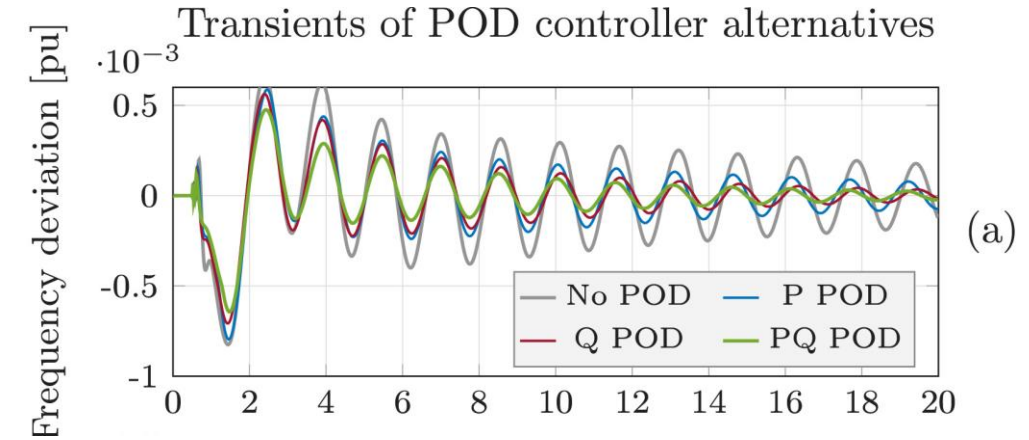
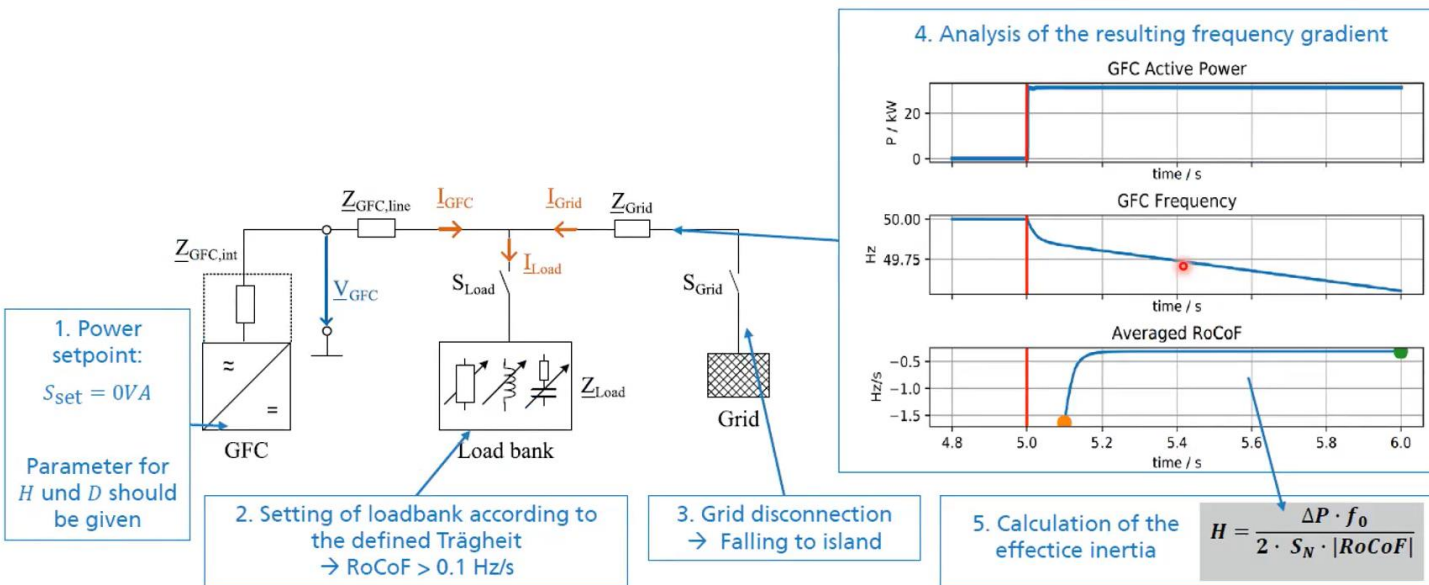
## Calidad de la energía



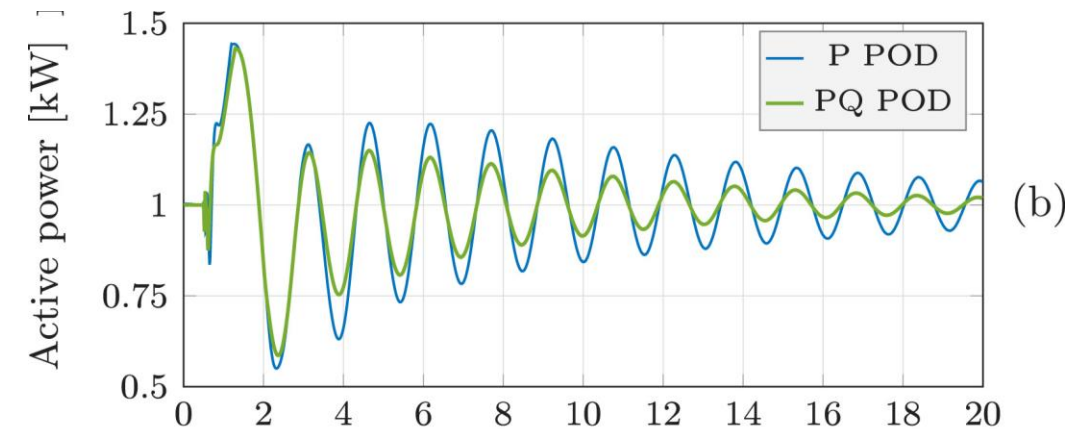


# Funcionalidades generales de Grid-Forming : Interacciones de Control

## Respuesta Inercial



## Amortiguamiento de Oscilación de Potencia

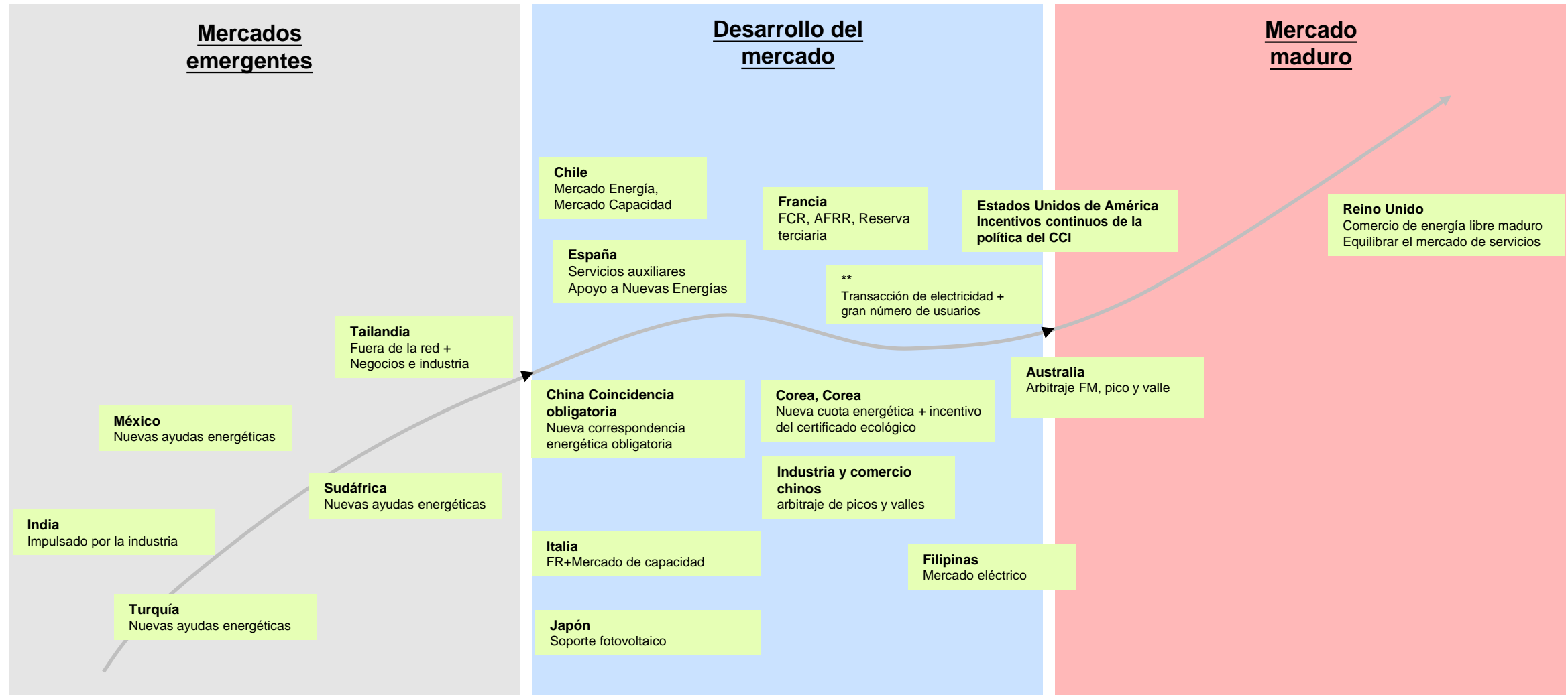




**3**

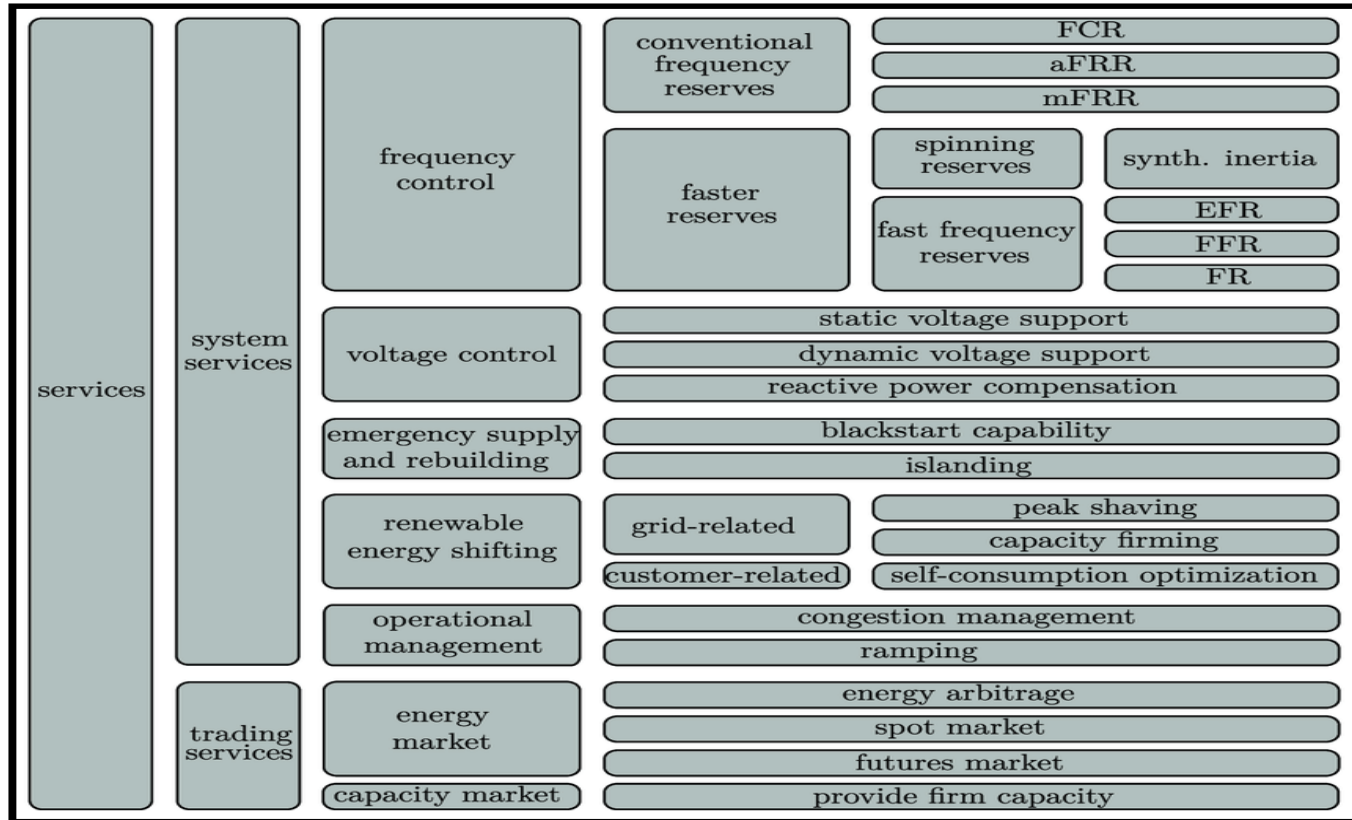
## **MERCADOS DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS**

# Madurez del mercado eléctrico: mercados emergentes, en desarrollo y mercados maduros





# Categorización de los servicios auxiliares

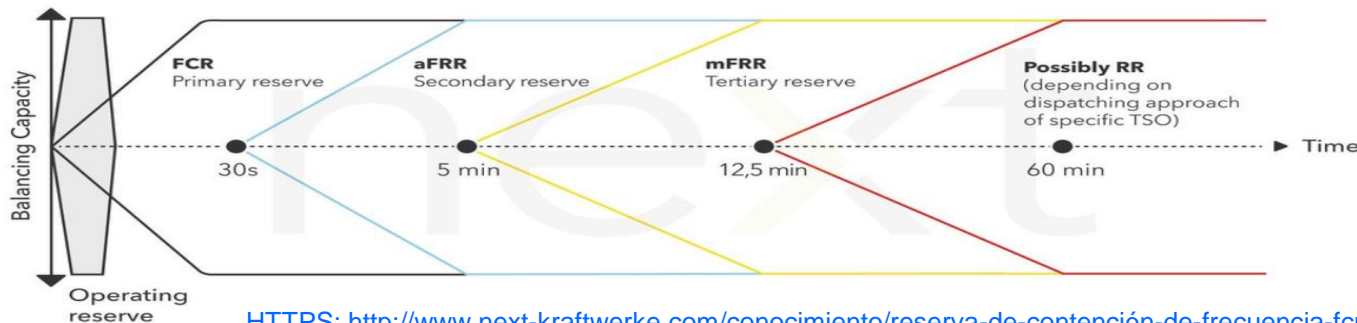


## Puntos clave de la hoja de ruta de la red nacional de servicios auxiliares del Reino Unido

El objetivo de UK National Grid (TSO) es crear mercados de servicios equilibrados que satisfagan las necesidades cambiantes del sistema y en los que todos los tipos de tecnología puedan competir en igualdad de condiciones. Para lograrlo, deberán:

- Proporcionar información del mercado que establezca claramente las necesidades de la red
- Simplificar los productos para crear transparencia
- Garantizar rutas hacia el mercado para todos los participantes

Country	TSO	Joining the FCR joint procurement	Comment
Deutschland	50Hertz, Amprion, TenneT DE, TransnetBW	01.12.2007	Foundation of the FCR cooperation by the German TSOs
Schweiz	Swissgrid	12.03.2012	Procurement of part of the Swiss FCR requirements via the FCR Cooperation
Niederlande	TenneT NL	07.01.2014	
Österreich	APG	07.04.2015	Coupling of the Austrian-Swiss FCR tender with the FCR cooperation
Belgien	Elia	01.08.2016	
Frankreich	RTE	16.01.2017	
Dänemark (West)	Energinet	19.01.2021	
Slowenien	ELES	19.01.2021	
Tschechische Republik	CEPS	01.03.2023	



[HTTPS: \[www.next-kraftwerke.com/conocimiento/reserva-de-contención-de-frecuencia-fcr\]\(https://www.next-kraftwerke.com/conocimiento/reserva-de-contención-de-frecuencia-fcr\)](https://www.next-kraftwerke.com/conocimiento/reserva-de-contención-de-frecuencia-fcr)

**FCR:** Cuando se producen desviaciones de frecuencia, por ejemplo, como consecuencia de un corte de suministro eléctrico, la Reserva de Contención de Frecuencia (FCR) interviene automáticamente en segundos en toda el área síncrona para restablecer el equilibrio entre la oferta y la demanda. El FCR, también conocido como reserva de control primaria, es la primera respuesta a las perturbaciones de frecuencia.

# Nuevos servicios dinámicos (DC/DM/DR)

## Antiguo mecanismo de FM: pocas variedades comerciales, ciclo largo

- El antiguo servicio de frecuencias no distinguía entre respuestas de frecuencias primarias y secundarias, y las licitaciones de mercado solían realizarse con varios meses de antelación.
- En 2016, UK NG adquirió 200 MW EFR para hacer frente al desafío de la disminución de la inercia del sistema
- Dificultad para adaptarse a los desafíos, como los frecuentes cruces del umbral de frecuencia

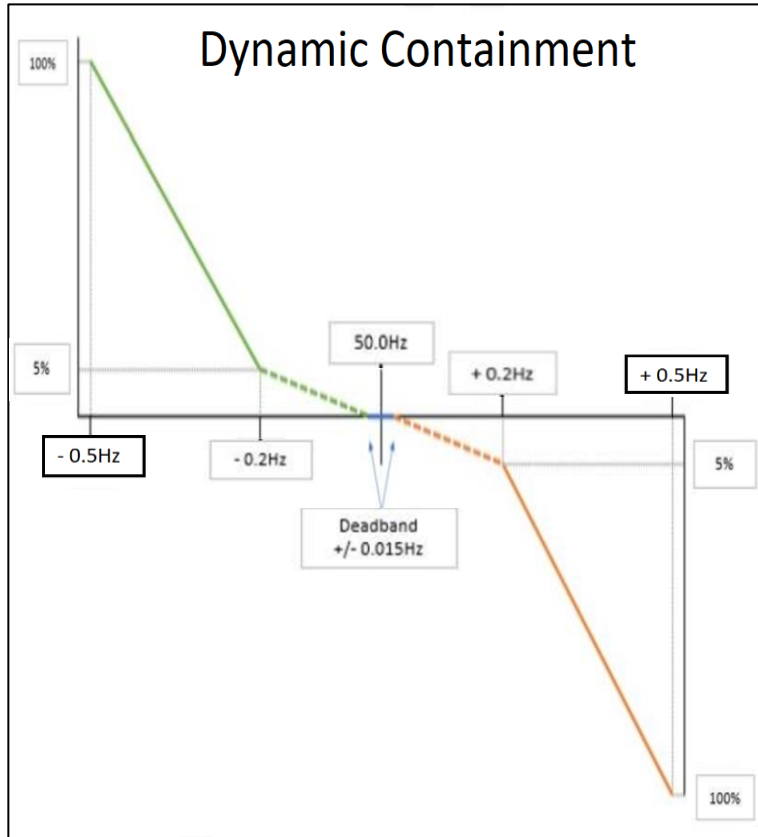
	FFR (Respuesta de Firm Frecuencia)				EFR
	Primaria (Extinción gradual)	Secundaria (Extinción gradual)	Alto (Extinción gradual)	Estático	Adquisición única de 200 MW en 2016
estado	Bajo actividad				
Velocidad de respuesta	10s	30s	10s	30s	1s
Duración de la respuesta	20s	30mins	indefinida	30mins	15mins
Compra	Mensualmente	Mensualmente	Mensualmente	Mensualmente	Premiado en 2016
Duración del contrato	1 mes	1 mes	1 mes	1 mes	4 años
Pagos	£/MW/h	£/MW/h	£/MW/h	£/MW/h	£/MW/h
Agregación	Permitido				
superpuestos	Permitido				

## Nuevo sistema de respuesta en frecuencia: respuesta más rápida y adquisiciones más frecuentes

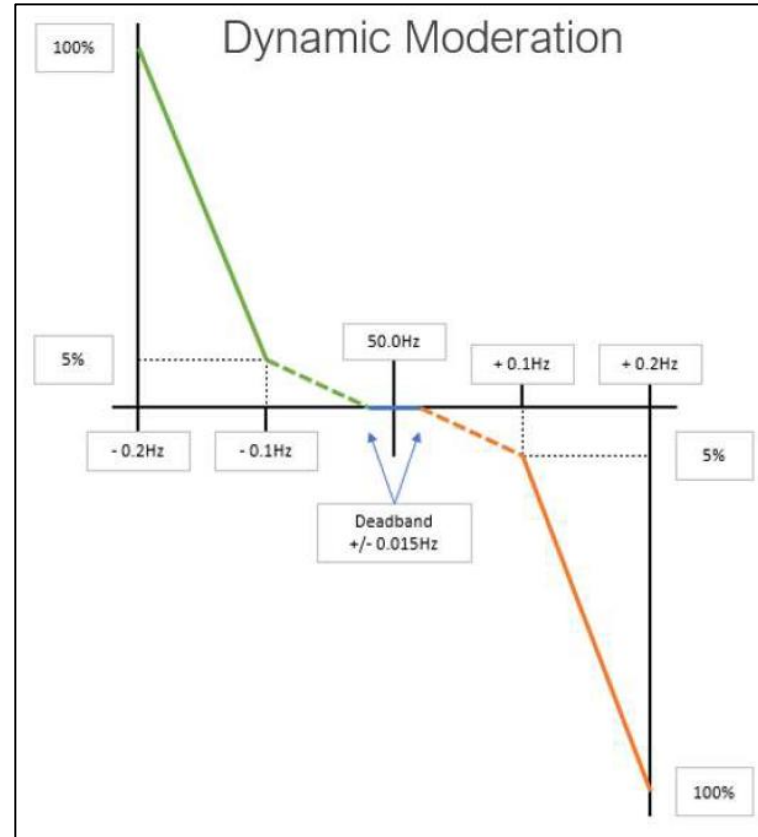
- La respuesta en frecuencia pasó de FFR dinámico a DC, DM y DR.
- DC: Contención Dinámica**
- DM: Moderación Dinámica**
- DR: Regulación Dinámica**

	DC (contención dinámica)	DM (moderación dinámica)	DR (Regulación dinámica)
Fecha de inicio del servicio	01-10-2020	01-04-2022	30-06-2022
Hora de inicio	0.5 s	1 s	2 s
Falla previa/posterior	Posfallo	Prefallo	Prefallo
Rango de entrega	±0,2 - 0,5 Hz	±0,1 - 0,2 Hz	+/-0,015 - 0,1 Hz
Banda muerta (% de entrega)	0% (+/- 0,015 Hz)	+ / - 0,015 (0%)	+ / - 0,015 (0%)
Rango lineal inicial (% de entrega)	De +/-0,015 Hz a +/-0,2 Hz 5% a +/-0,2 Hz	±0,015 Hz a ±0,1 Hz 5% a ±0,1 Hz	+/-0,015 -0,2 Hz (100% a +/-0,2 Hz)
Punto de rodilla	+/- 0,2 Hz	+/-0.1Hz	Sin punto de rodilla
Segundo rango lineal (% de entrega)	100% a +/- 0,5 Hz	100% a +/-0,2 Hz	n/d
Punto de entrega completo	+/- 0,5 Hz	+/- 0,2 Hz	+/- 0,2 Hz
Tiempo máximo para la entrega completa	1s	1 s	10 s
Duración de la entrega	15 minutos	30 minutos	60 minutos
Compra	Subastas diarias	Subastas diarias o periódicas	Subastas diarias o periódicas
Duración del contrato	Segmentos de 4 horas, lo que permite una programación y pujas más precisas		
Pagos	£/MW/h	£/MW/h	£/MW/h
aglomeración	Permitido		
superpuestos	Permitido		

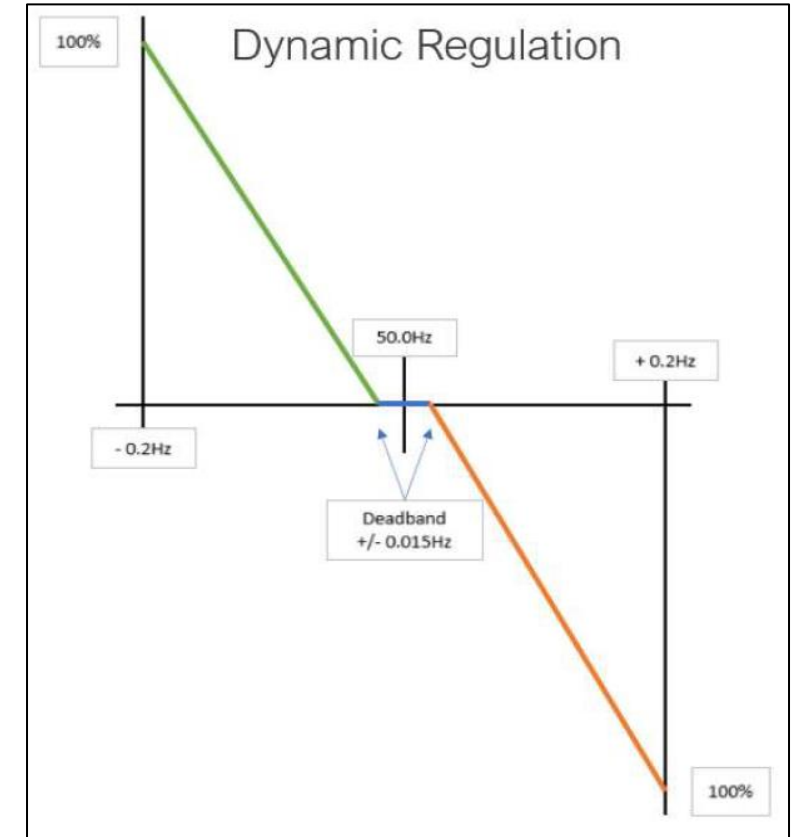
# Requisitos de entrega de DC, DM y DR



Service specification	Details
Deadband delivery	0% ( $\pm 0.015\text{Hz}$ )
Small linear delivery	Between 0.015Hz and 0.2Hz (maximum of 5% at 0.2Hz)
Knee point activation	$\pm 0.2\text{Hz}$ is 5%
Full delivery	$\pm 0.5\text{Hz}$ is 100%
Linear delivery knee point	0.2Hz
Full activation	0.5Hz
Full delivery	1s



Topic	Dynamic Moderation
Speed of response	1 second
Pre/post fault	Pre-fault
Delivery range	$\pm 0.1 - 0.2\text{ Hz}$
Deadband (delivery %)	$\pm 0.015$ (0%)
Initial linear range (delivery %)	$\pm 0.015 - 0.1$ (5% at $\pm 0.1\text{Hz}$ )
Knee point	$\pm 0.1\text{Hz}$
Second linear range (delivery %)	$\pm 0.1 - 0.2$ (100% at $\pm 0.2\text{Hz}$ )
Full delivery point	$\pm 0.2\text{Hz}$
Max ramp start	0.5 seconds

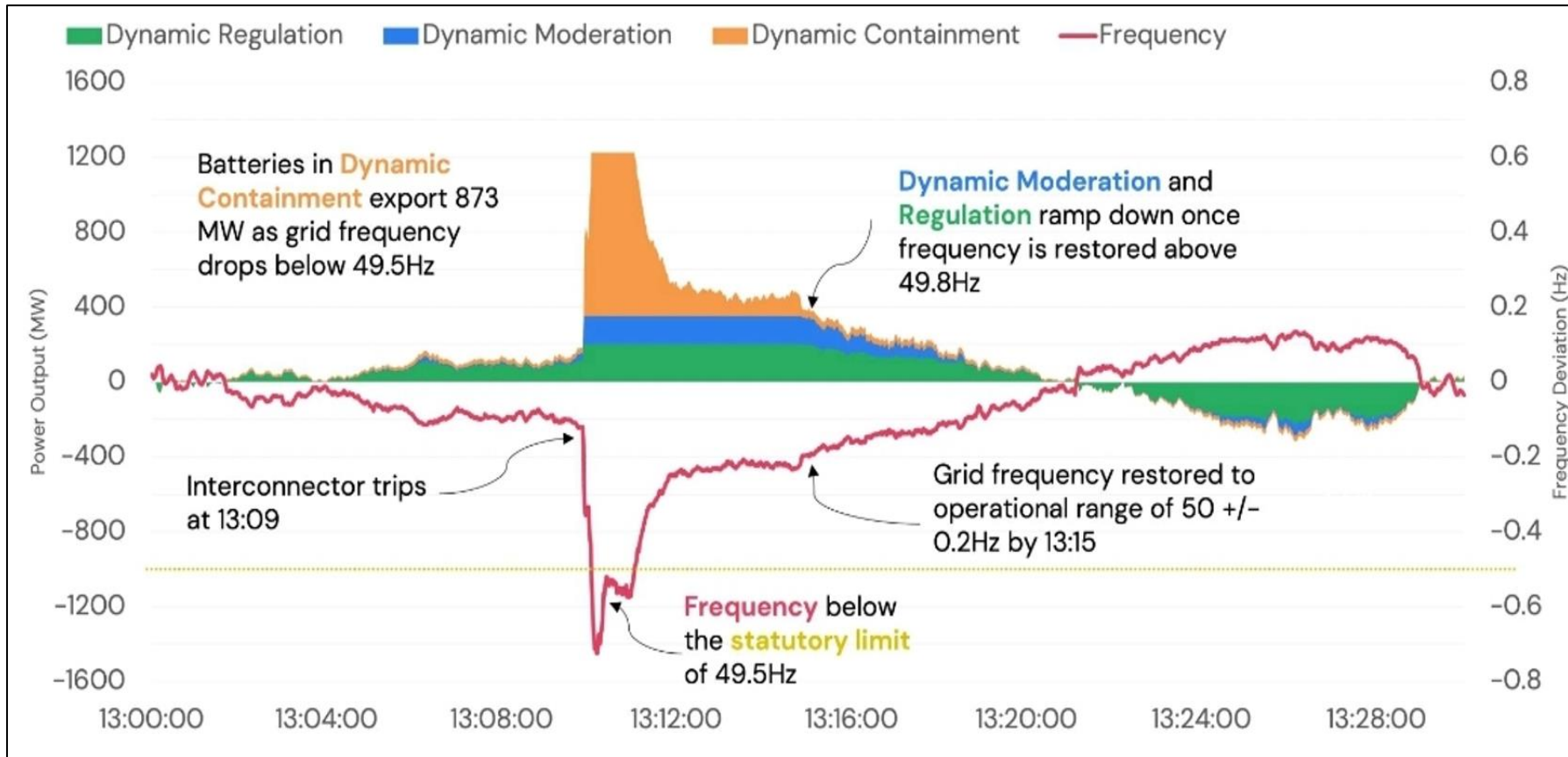


Topic	Dynamic Regulation
Speed of response	10 seconds
Pre/post fault	Pre-fault
Delivery range	$\pm 0.015 - 0.2\text{ Hz}$
Deadband (delivery %)	$\pm 0.015$ (0%)
Initial linear range (delivery %)	$\pm 0.015 - 0.2\text{ Hz}$ (100% at $\pm 0.2\text{Hz}$ )
Knee point	No knee point
Second linear range (delivery %)	n/a
Full delivery point	$\pm 0.2\text{Hz}$
Max ramp start	2 seconds



# Caso práctico del Reino Unido: respuesta del BESS al evento de frecuencia – 22 de diciembre de 2023

Con una frecuencia de red inferior a 49,5 Hz, las baterías exportadas 1,2 GW a través de los tres servicios de respuesta en frecuencia



Salida de baterías de los tres servicios dinámicos de respuesta en frecuencia (Fuente: National Grid ESO - Modo Energy – Diciembre de 2023)

## Evento de respuesta en frecuencia

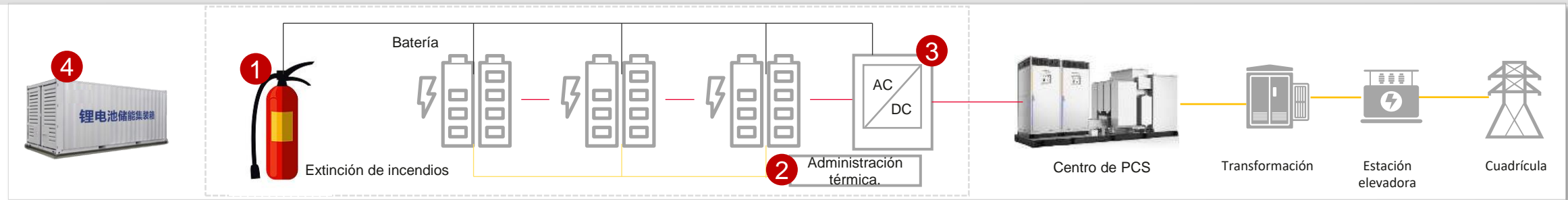
- El 22 de diciembre de 2023, uno de los interconectores entre Francia y el Reino Unido se disparó a las 13:09
- Causó una repentina escasez de energía en la red.
- En ese momento, la generación eólica era alta, alrededor de 14 GW, por lo que había una inercia bastante baja en la red.
- La frecuencia de red cayó a 49,3 Hz, 0,2 Hz por debajo del límite legal.
- Los tres servicios de respuesta en frecuencia activaron una potencia total para restaurar la red con 1.226 MW de potencia durante un minuto completo.
- Aumento de CC de 43 MW a 873 MW.
- DM y DR continuaron exportando durante otros 5 minutos hasta que se restableció la frecuencia de red.

**4**

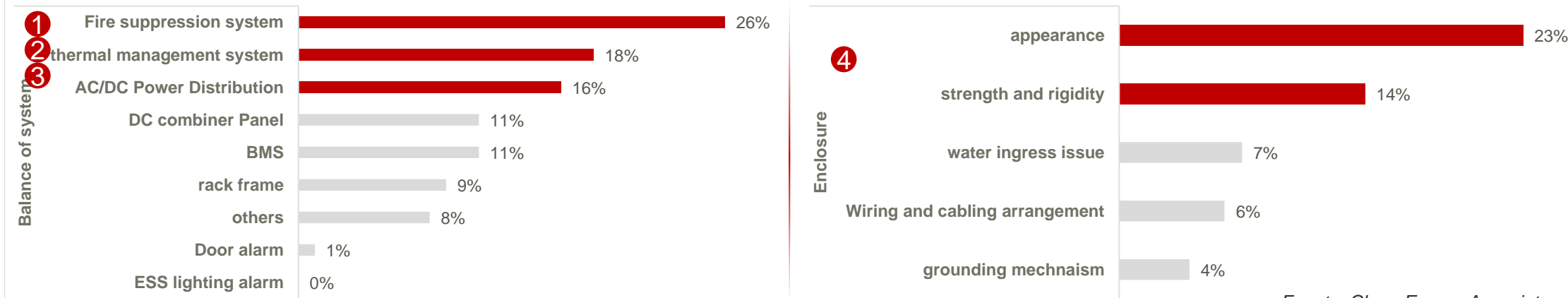
## **TECNOLOGÍA BESS: REQUISITOS ESPECÍFICOS DE SEGURIDAD**

# El correcto diseño del BESS y la integración de sistemas de seguridad confiable a nivel de dispositivo son clave para la estabilidad de la red

El 80% de los problemas del sistema BESS provienen del lado de DC y la mayoría están relacionados con la extinción de incendios y la gestión térmica



Análisis CEA: 30 GWh BESS en los últimos 6 años e identificación de más de 1,300 problemas, más provienen de la gestión refinada y del diseño de integración de sistemas BESS



Fuente: Clean Energy Associates



# Seguridad a nivel de dispositivo y a nivel de red: Garantizar una salida de potencia constante durante el HVRT



**El dispositivo no  
seguro**

- Durante una HVRT, cuando el SOC del BESS es  $\leq 10\%$ :
- La red invierte la corriente de la batería y la batería soporta el alto voltaje inverso.
- Como resultado, la batería se descompone, lo que provoca un escape térmico y un incendio o incluso una explosión en el sistema.
- No se puede garantizar la salida de potencia activa durante la HVRT

**La red no es  
segura**

**No cumple con GB/T 37408-2019 y GB/T 34120-2023**

**Siguen ocurriendo accidentes por explosiones en el ESS  
La seguridad se convierte en un gran desafío**

